

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U002429

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 03-07-2024

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Молочков Денис Євгенійович

2. Denys Molochkov

Кваліфікація: 131

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-9030-5371

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 131

Назва наукової спеціальності: Прикладна механіка

Галузь / галузі знань: механічна інженерія

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Прикладна механіка

Дата захисту: 29-08-2024

Спеціальність за освітою: Прикладна механіка

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): ДФ 17.052.006

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Запорізька політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02070849

Місцезнаходження: вул. Жуковського, буд. 64, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69063, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Запорізька політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02070849

Місцезнаходження: вул. Жуковського, буд. 64, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69063, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 55.30.51.13, 55.30.51.15, 81.35.13.05, 81.35.15.11, 81.35.27.05

Тема дисертації:

1. Покращення керованості процесу формоутворення шарів металу при 3D-друці на основі електродугового зварювання
2. Improvement of the metal layer formation process in 3D printing based on arc welding

Реферат:

1. В дисертаційній роботі вперше висвітлено проблему динамічного відхилення геометричних параметрів інструменту від кінематичної моделі багатокоординатного маніпулятора в процесі адитивного виробництва на основі електродугового зварювання плавким електродом в середовищі захисних газів, більш відомого, як Wire and Arc Additive Manufacturing або WAAM. Було встановлено, що постійне збільшення відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту негативно впливає на стабільність процесу вирощування і якість поверхонь вирощуваних об'єктів. Погіршення якості та точності геометрії деталей знижують їх механічні властивості, а також погіршують ефективність використання матеріалів та екологічність виробництва. В результаті виконання дисертаційної роботи було вирішено актуальну науково-прикладну задачу покращення керованості процесу формоутворення наплавлених шарів металу і нормалізації нерівномірності бокових поверхонь WAAM деталей, а також зменшення відхилень форми, що в комплексі покращило ефективність використання матеріалів, дозволило зменшити потребу в надлишковій

постобробці та покращити експлуатаційні властивості необроблених деталей. Наукова новизна роботи полягає у встановленні залежності нерівномірності поверхонь вирощуваних об'єктів від напружено-деформованого стану присадного дроту, зносу контактного наконечника і від динамічних процесів у ванні розплавленого металу, що комплексно впливають на процес формоутворення валиків із жароміцних сплавів при WAAM. При цьому було вперше встановлено і доведено зв'язок зносу контактного наконечника і відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту з утворенням нерівномірностей поверхонь деталей, виготовлених методом WAAM. Вперше експериментально-розрахунковим шляхом встановлено залежність нелінійної зміни інтенсивності зношування контактного наконечника в процесі WAAM від напружено-деформованого стану присадного дроту, динамічна зміна якого визначає умови контактної взаємодії наконечника з дротом. Виявлено закономірність зниження інтенсивності зношування контактного наконечника зі збільшенням кривизни присадного дроту або збільшенням величини зносу контактного наконечника, що пояснюється зменшенням контактної сили при зменшенні пружної деформації. Встановлено стійкий зв'язок і визначено функціональну залежність величини зносу контактного наконечника від нормальної сили контактної взаємодії, довжини використаного дроту, його радіуса кривизни, жорсткості і твердості матеріалу. Визначено функціональний зв'язок між величиною відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту і величиною зносу контактного наконечника. Розроблені математичні моделі описують комплексний вплив напружено-деформованого стану дроту на його відхилення і дозволяють передбачити величину відхилення в процесі вирощування. Вперше вирішено теоретичні та прикладні задачі покращення контрольованості формоутворення валиків, які забезпечують зменшення відхилень форми бокових поверхонь при WAAM шляхом обмеження часу існування постійної ванни розплавленого металу. Це дозволило встановити раціональні режими вирощування та забезпечити зменшення відхилення форми бокових поверхонь вирощених деталей на величину до 60% і покращити стабільність вирощуваної геометрії в три рази за рахунок зменшення стандартного відхилення до 0,08 мм. Вперше впроваджено і розраховано параметр еквівалентна ширина стінки, який обґрунтовує необхідність компенсації падіння міцності вирощеної стінки внаслідок впливу дефекту, утвореного зносом контактного наконечника, і встановлює залежність між міцністю необробленої і обробленої стінок без урахування впливу мікроструктури. Вперше розроблено і обґрунтовано методику компенсації відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту для WAAM на основі GMAW програмним шляхом, згідно якої координати центральної точки інструменту в кінематичній моделі робота набувають змінного характеру, який керується нейронними моделями на основі експериментальних і статистичних даних. Таким чином забезпечується постійна позиційна точність положення присадного дроту з відхиленням до $\pm 0,2$ мм за координатою X і $\pm 0,12$ мм за координатою Y. Практичне значення одержаних результатів полягає у значному покращенні точності та повторюваності вирощуваної геометрії, що дозволяє значно підвищити ефективність використання матеріалу, скоротити час виробництва і зменшити необхідність в постобробці. Розроблені розрахунково-експериментальні моделі дозволяють прогнозувати робочий цикл контактних наконечників зварювальних пальників. Алгоритм компенсації відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту розроблено з урахуванням можливості впровадження не тільки в адитивному виробництві, а і роботизованій чи автоматизованій відновлювальній наплавці.

2. This work is the first to address the problem of dynamic deviation of tool geometric parameters from the kinematic model of a multi-axis manipulator in the additive manufacturing technology based on Gas Metal Arc Welding, better known as Wire and Arc Additive Manufacturing or WAAM. It was found that a constant increase in the deviation of the filler wire from the tool center point negatively affects the stability of the deposition process and the surface quality of the printed objects. The deterioration in the quality and accuracy of the geometry reduces the mechanical properties of the parts, as well as the efficiency of material use and the environmental friendliness of production. As a result of the work, the important scientific and applied problem of improving the controllability of the formation process of deposited metal layers and normalizing the irregularities of the side surfaces of WAAM parts, as well as reducing the shape deviations, was solved, which in combination improved the efficiency of material use, reduced the need for excessive post-processing, and improved the operational

properties of as-deposited parts. The scientific novelty of the work is to establish the dependence of the surface irregularities of the printed objects on the stress-strain state of the filler wire, the contact tip wear, and the dynamic processes in the molten pool, which comprehensively affect the process of bead formation from heat-resistant alloys during WAAM. At the same time, the relationship between the magnitude of contact tip wear and the magnitude of filler wire deviation from the tool center point with the formation of irregularities of WAAM surfaces was first established and proved. The dependence of the nonlinear change of the contact tip wear rate in WAAM on the stress-strain state of the filler wire was first established by experimental and computational means. Its dynamic variation determines the contact interaction conditions between tip and wire. A tendency for the contact tip wear rate to decrease with an increase in filler wire radius of curvature or an increase in the magnitude of contact tip wear was found, which is explained by a decrease in contact force with a decrease in elastic deformation. A significant relationship was established and the functional dependence of the contact tip wear on the normal contact force, the length of the wire used, its radius of curvature, and the stiffness and hardness of the material was determined. The functional relationship between the value of the filler wire deviation from the tool center point and the contact tip wear was determined. The developed mathematical models describe the complex effect of the stress-strain state of the wire on its deflection and allow to predict the value of the deflection during the deposition process. For the first time, theoretical and applied problems of improving the controllability of bead formation have been solved, ensuring a reduction of the shape deviation of the side surfaces in WAAM by limiting the life of the molten pool, which made it possible to establish rational deposition modes and ensure a reduction of the deviation in the deposited side surfaces by up to 60% and improve the stability of the deposited geometry by three times. For the first time, the equivalent wall width parameter was introduced and calculated, which justifies the need to compensate for the decrease in strength of the deposited wall due to the influence of the defect caused by contact tip wear, and establishes the relationship between the strength of as-deposited and machined walls without considering the influence of microstructure. For the first time, a method of compensating for the deviation of the filler wire from the tool center point for GMAW-based WAAM has been developed and implemented in software, according to which the coordinates of the tool center point in the kinematic model of the robot acquire a variable character, which is controlled by neural models based on experimental and statistical data. This ensures a constant positional accuracy of the filler wire with a deviation of up to ± 0.2 mm in the X coordinate and ± 0.12 mm in the Y coordinate. The practical significance of the results obtained is a major improvement in the accuracy and repeatability of the deposited geometry, which can significantly increase the efficiency of material use, shorten the production time, and reduce the need for post-processing. The developed computational and experimental models allow to predict the working cycle of welding torch contact tips. The algorithm for compensation of the filler wire deviation from the tool center point was developed with the possibility of implementation not only in additive manufacturing, but also in robotic or automated welding and surfacing.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

Підсумки дослідження: Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

Публікації:

- Молочков Д.Є., Куликовський Р.А., Фурманова Н.І. Визначення оптимальних параметрів процесу WAAM на основі технології СМТ з використанням низьковуглецевої нелегованої сталі. Нові матеріали і

технології в металургії та машинобудуванні. 2020. №1. С. 62–68.

- Molochkov D., Kulykovskiy R., Brykov M., Hesse O. The Influence of Surface Irregularities on the Mechanical Properties of Thin-Walled Wire and Arc Additively Manufactured Parts. Journal of Engineering Sciences. 2023. Vol. 10, № 2. P. A10–A17.
- Molochkov D., Kulykovskiy R. Pulse deposition method for wire and arc additive manufacturing. New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering. 2024. №2. P. 21-29.
- Анікін П. С., Шило Г. М., Куликовський Р. А., Молочков Д. Є. Система автоматизованого керування робототехнічною платформою 3D-друку з використанням технології електродугового зварювання. Електротехніка та електроенергетика. 2020. №4. С 35–48.

Наукова (науково-технічна) продукція: технології; методи, теорії, гіпотези

Соціально-економічна спрямованість: економія енергоресурсів; економія матеріалів; підвищення автоматизації виробничих процесів

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами:

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Куликовський Руслан Анатолійович
2. Ruslan Kulykovskiy

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-8781-2113

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Запорізька політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02070849

Місцезнаходження: вул. Жуковського, буд. 64, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69063, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Квасницький Віктор Вячеславович
2. Viktor Kvasnytskyi

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.03.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-7756-5179

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Носов Денис Геннадійович

2. Denys Nosov

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.03.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-1588-684X

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Дніпровський державний технічний університет

Код за ЄДРПОУ: 02070737

Місцезнаходження: вул. Дніпробудівська, буд. 2, Кам'янське, 51918, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Дядя Сергій Іванович

2. Serhii Dyadya

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.03.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-7457-7772

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Запорізька політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02070849

Місцезнаходження: вул. Жуковського, буд. 64, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69063, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Гнатенко Михайло Олегович
2. Mykhailo Gnatenko

Кваліфікація: д.філософ, 136

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-7613-852X

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Запорізька політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02070849

Місцезнаходження: вул. Жуковського, буд. 64, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69063, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради**

Павленко Дмитро Вікторович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні**

Павленко Дмитро Вікторович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Молочков Денис Євгенійович

Реєстратор

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна